

ELECTROMAGNETOPHORETIC ANALYTISIS METHOD AND DEVICE FOR MICRO PARTICULATE IN LIQUID

Publication number: JP2000105218

Publication date: 2000-04-11

Inventor: WATARAI HITOSHI

Applicant: JAPAN SCIENCE & TECH CORP

Classification:

- international: G01N27/447; G01N15/02; G01N27/447; G01N15/02;
(IPC1-7): G01N27/447

- european:

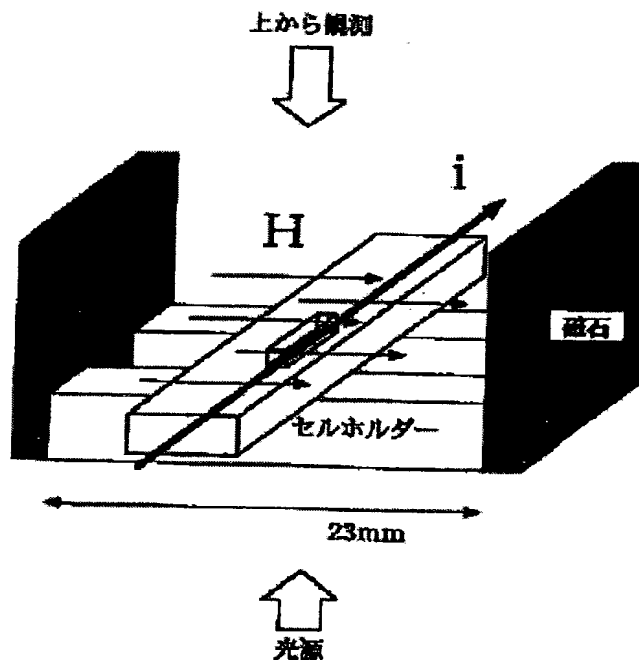
Application number: JP19980276024 19980929

Priority number(s): JP19980276024 19980929

Report a data error here

Abstract of JP2000105218

PROBLEM TO BE SOLVED: To conduct detail separation/characterization for a microbody such as a molecule, and to easily carry out fractionation utilizing migration, by applying an electric field to the microbody dispersed in a dispersion medium and applying a magnetic field orthogonally to the electric field to conduct electrophoresis for the microbody in the magnetic field. **SOLUTION:** An Ag/AgCl electrode, for example, is provided by a cell holder in both end parts of a cell, a current flows to the *i*-direction in the figure, and a magnet is provided to apply a magnetic field *H* in a direction perpendicular to it. A light source is provided in a lower side of the cell to observe migration thereby from an upper side of the cell. Any of a charged microbody, a microbody charged by applying the electric field or the magnetic field, or an uncharged body is acceptable for the microbody of a migration object. A particulate of a polymer material such as polystyrene, an inorganic particulate such as carbon, a molecule or a molecule flocculate, and a protein such as an enzyme are mentioned as an example.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

Best Available Copy

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-105218
(P2000-105218A)

(43) 公開日 平成12年4月11日 (2000. 4. 11)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード (参考)

G 0 1 N 27/447

G 0 1 N 27/26

3 3 1 C

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-276024

(22) 出願日 平成10年9月29日 (1998. 9. 29)

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 渡會 仁

大阪府豊中市西緑丘2-2-6-613

(74) 代理人 100102668

弁理士 佐伯 憲生

(54) 【発明の名称】 液中微粒子の電磁泳動分析法およびその装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、分散媒中に分散された微粒子に、電場及び電場と直角方向に磁場をかけて微粒子を磁場中で電磁泳動させる方法、その方法による微粒子の分離方法、及び、その装置を提供するものである。

【解決手段】 本発明は、分散媒中に分散された微粒子に、電場をかけ、かつ、電場と直角方向に磁場をかけて微粒子を磁場中で電磁泳動させる方法、その方法による微粒子の分離方法、及び、その装置に関する。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 分散媒中に分散された微粒子に、電場をかけ、かつ、電場と垂直方向に磁場をかけて微小物体を電磁泳動させる方法。

【請求項2】 磁場が、不均一磁場である請求項1に記載の方法。

【請求項3】 微小物体が、導電性を有する微粒子である請求項1又は2に記載の方法。

【請求項4】 分散媒が電解質溶液である請求項1に記載の方法。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかに記載の方法を行うための装置。

【請求項6】 請求項1～4のいずれかに記載の微小物体を電磁泳動させる方法により微小物体を分離する方法。

【請求項7】 請求項6に記載の方法を行うための分離装置。

【請求項8】 電場に直角な位置に微小物体を分取するための分画を設けてなる請求項7に記載の分離装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、分散媒中に分散された微小物体に、電場をかけ、かつ、電場と直角方向に磁場をかけて微小物体を磁場中で電磁泳動させる方法、そのための装置、及び、その方法による微小物体の分離方法並びにそのための分離装置に関する。

【0002】

【従来の技術】荷電した又は荷電させた微小物体を電気泳動させる方法は、分析手段や分離手段として広く応用されてきている。これらの電気泳動法は、微小物体を含む分散媒に電場をかけることにより行われてきたが、電場と同時に磁場をかけることはなかった。

【0003】均一電場中の液中粒子が均一磁場によって

$$\begin{aligned} dF &= (\mu H j) dV \\ F &= (\mu H j) V \end{aligned} \quad (1)$$

電流密度 j が、媒体と媒体中の微小物体とで異なる場合には、それぞれにかかる力が異なることになるから、その力の差により微小物体が媒体中を泳動することになる。

$$j_1 = j_2 (3\sigma_1 / (2\sigma_2 + \sigma_1)) \quad (3)$$

【0007】ここに、 j_1 は微小物体内の電流密度、 j_2 は媒体中の電流密度、 σ_1 は微小物体の電気伝導度、 σ_2 は媒体の電気伝導度をそれぞれ示している。前記の(2)式によれば、電磁場中の媒体中の体積 V を有する

$$\begin{aligned} F_1 &= \mu_1 H j_2 V (3\sigma_1 / (2\sigma_2 + \sigma_1)) \\ F_2 &= \mu_2 H j_2 V \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 μ_1 は微小物体の透磁率であり、 μ_2 は媒体の透磁率である。したがって、電磁場中で媒体中の微小物

$$F = F_1 - F_2 = H j_2 V (\mu_1 (3\sigma_1 / (2\sigma_2 + \sigma_1)) - \mu_2) \quad (6)$$

ここで媒体と微小物体の透磁率が等しいかほぼ等しい、

受ける電磁泳動力に関する理論式が以前提案されたが

(A. Kolin, Science, 1953, 117, 134.)、実際の泳動を検討することはほとんど行われてこなかった。そこで本発明者らは、分散媒中の微小物体の電気泳動挙動に及ぼす磁場の影響を検討し、液中での微小物体の新たな分離・キャラクタリゼーション法としての可能性を検討した。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、分散媒中の分子や微粒子などの微小物体の電気泳動挙動に及ぼす磁場の影響を検討し、分散媒、特に溶液状の分散媒中の微小物体の新たな泳動方法・分離方法を提供しようとするものである。より詳細には、本発明は、分散媒中に分散された微小物体に、電場及び電場と直角方向に磁場をかけて微小物体を電磁場中で電磁泳動させる方法、そのための装置、及び、その方法による微小物体の分離方法並びに分離装置を提供するものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は、分散媒中に分散された微小物体に、電場をかけ、かつ、電場と垂直方向に磁場をかけて微小物体を磁場中で電磁泳動させる方法に関する。また、本発明は、分散媒中に分散された微小物体に、電場をかけ、かつ、電場と垂直方向に磁場をかけて微小物体を磁場中で電磁泳動させるための装置に関する。さらに、本発明は、分散媒中に分散された複数種の微小物体に、電場をかけ、かつ、電場と垂直方向に磁場をかけて微小物体を磁場中で電磁泳動させる方法による微小物体の分離方法及びその装置に関する。

【0006】透磁率 μ 、電流密度 j 、磁場の強さ H の中で、ある体積要素 V を有する物体が、磁場とそれに垂直な電場によって受ける力 F は、次の式(1)、(2)で示される。

$$(1)$$

$$(2)$$

る。媒体中の微小物体と媒体の電流密度の関係は、マックスウエル(Maxwell)の式から、次の(3)で示されることになる。

微小物体が受ける力 F_1 、及び、媒体が受ける力 F_2 はそれぞれ次ぎの(4)及び(5)式で示されることになる。

体が受ける相対的な力 F (即ち、 $F_1 - F_2$) は次式(6)で示されることになる。

$$(6)$$

即ち、

$\mu_1 = \mu_2 = \mu$
として、

$$F = -2\mu H j_2 V ((1-n)/(2+n)) \quad (7)$$

【0008】この力Fを重力場にたとえて説明すると、水中の物質が重力F₁と浮力F₂を受けているようなものである。しかし、上記で説明してきた力Fは、電磁場で受ける力であるから、以下においては、F₁を電磁力と呼び、F₂を電磁浮力と呼ぶことにする。電磁場中の微小物体が受ける前記した力の関係を図1に示す。

$$F = -\mu_2 H j_2 V$$

したがって、実質的に電気伝導度が0の微小物体を媒体の透磁率が μ_2 の媒体中に分散させて、これを電磁場中におくと、微小物体の体積V、及び、媒体中の電流密度 j_2 に比例した力Fが、微小物体にかかることになる。ここで、電流密度を一定にしておくと、微小物体の体積に応じて加わる力が異なることになり、体積に応じた電

$$F = 6\pi\eta R v$$

(式中、 η は媒体の粘度であり、Rは微小物体の半径である。)と前記の(7)式から、次の式(10)で示さ

$$v = (2/45) \cdot (\mu H j_2 R^2 / \eta) ((1-n)/(2+n)) \quad (10)$$

(式中、 μ_2 は媒体の透磁率であり、Hは磁場の強さであり、 j_2 は媒体中の電流密度であり、 η は媒体の粘度であり、Rは微小物体の半径である。)

【0011】以上の状況は均一な磁場の場合であり、磁

$$F_m = V\mu_0 \chi (H \cdot (dH/dx)) \quad (11)$$

ここに、 μ_0 は真空の透磁率であり、CGS単位系では $\mu_0 = 1$ であり、 χ は磁化率であり、 (dH/dx) は磁場勾配を示す。

【0012】この力F_mは、式(11)からもわかるように磁化率 χ が小さい物質においては余り問題にならないが、塩化マンガン水溶液のように磁化率 χ が大きな特に常磁性の物質である場合には大きな力として効いてくることになる。不均一磁場における媒体中の微小物体が

$$F = -V\mu_0 \chi (H \cdot (dH/dx)) \quad (12)$$

ここに、 μ_0 は真空の透磁率であり、 χ は媒体の磁化率であり、 (dH/dx) は磁場勾配を示す。

【0013】本発明者らは、微小物体としてポリスチレン粒子と炭素球粒子を用いて、これらの微小物体の電気泳動挙動に及ぼす磁場の影響を検討した。実験で用いたセルを図2に示す。図2中の単位はmmである。この実験に用いた磁石には縦、横16mm、高さ5mm、表面磁場約0.3Tのネオジウム鉄ボロン磁石であり、これにより均一磁場を生成させた。

【0014】この実験で使用した電磁泳動実験装置を図3、図4、及び、図5に示す。図3は、図2に示されるセルの両開口部に電極(例えば、Ag/AgCl電極など)を設置することができるようにしたセルホルダーを示している。図4は、前記したセルホルダーと磁石との関係を示している。即ち、セルの両端にセルホルダーに

$$n = \sigma_1 / \sigma_2$$

とすると相対的な力Fは次式(7)で示される。

【0009】また、微小物体としてその電気伝導度 σ_1 が0のものを使用した場合には、式(4)から電磁力F₁は0になり、この結果、微小物体には電磁浮力F₂のみが実質的に作用することになる。即ち、この場合の力Fは、次の(8)式で示される。

$$(8)$$

磁泳動がみられることになる。理論的には $\sigma_1 = 0$ ($n = 0$)ということも考えられるが、実際にはポリスチレンのような場合でも σ_1 は0ではなく、電磁泳動は σ_1 、即ち、 n の値にも依存することになる。

【0010】また、この時の泳動速度 v は、次式(9)で示されるストークスの法則の式、

$$(9)$$

れることになる。

場が不均一な場合には媒体及び微小物体に磁場勾配に応じた力が作用することになる。体積Vの微小物体に作用する力(磁場吸引力)F_mは次の式(11)で示される。

非磁性の物質である場合には、前記式(11)からもわかるように微小物体にかかる力はないから、見かけ上同体積の媒体にかかる力F_mが微小物体に逆向きにかかることになる。これは、前記の電磁浮力と同様な考え方によるものである。したがって、不均一磁場において磁性物質からなる媒体中の非磁性物質からなる微小物体にかかる力Fは、次の式(12)で示される。

より電極が設けられ電流は図4中のiで示される方向に流れており、これと垂直方向に磁場Hが掛けられるように両側に磁石が設置されており、この磁石の間隔は23mmであった。そして、セルの下側に光源が設けられており、この光源により泳動をセルの上側から観察した。光は図5に示されるように顕微鏡内蔵の光源により下から当てられた。

【0015】図5には、この装置の全体像を示した。この装置には、セルに電流を流すための定電流電源、観察のための顕微鏡、観察結果を記録しておくためのCCDカメラとビデオ装置、及び、ステージの高さを決定するためのデジタルゲージが設けられている。このデジタルゲージにより μm のオーダーでステージの高さを調節できるようにした。このデジタルゲージにより焦点を合わせたステージの位置を μm オーダーで計測することがで

きるが、セル内に溶液を入れたときには、屈折率の違いによりデジタルゲージの値をそのままセル内の位置とすることはできなかった。例えば、セルの上面と下面に焦点を合わせたときのステージの高さの差は約 $190\mu\text{m}$ となり、実際のセルの深さ $250\mu\text{m}$ （図2参照）よりも小さく観測される。このためにデジタルゲージで測定された値を補正する必要がある、次式（13）及び（14）で示す式により補正をした。

$$D_r = (h_1 - h_3) / (h_2 - h_3) \quad (13)$$

（式中、 h_1 は粒子に焦点を合わせたときのステージの高さであり、 h_2 はセルの上面に焦点を合わせたときの

$$h_D = D_r \times 250\mu\text{m}$$

【0017】粒径が $3\mu\text{m}$ 、 $15\mu\text{m}$ 及び $20\mu\text{m}$ である三種類のポリスチレン粒子を微小物体として電磁泳動させた。媒体としては、 1MKCl 溶液を用いた。その結果を図6に示す。図6の縦軸は泳動速度 v （ $\mu\text{m}/\text{秒}$ ）を示し、横軸は電流 i （ μA ）を示している。

【0018】図6からわかるように、泳動速度 v は電流 i の比例しており、このことは前記式（9）で示されるとおりの結果であることがわかる。この実験においては、媒体の流動は観測されず、微小物体のみの泳動が観察された。その泳動速度 v は粒子径が大きいほど大きく、このことは電磁浮力が粒子の体積に依存していることとよく一致していることを示す。粒径が $20\mu\text{m}$ の微小物体の傾きは、粒径が $15\mu\text{m}$ の微小物体の傾きの約1.74倍であり、これは半径の二乗の倍率（1.78倍）にほぼ一致していることもわかった。なお、粒径 $3\mu\text{m}$ の微小物体の電磁泳動は観測することができなかった。

【0019】この実験における泳動速度 v を前記式（9）において $n=0$ として計算した結果を図7に示す。磁場の強さ H が 1050 エルステッド（ Oe ）で、媒体の粘度 η が 8.788×10^{-3} ポイズ（ poise ）であり、 CGS 単位系で計算した。図7の計算値と図6の実測値には、電流値が大きくなるほど大きな開きが見られるが、その傾向は一致しており、量的には、実測値は前記式（9）の $n=0.323$ とすると計算値と実験値が一致することがわかる。

【0020】次に不均一な磁場での電磁泳動の実験を行った。この実験では導電率の異なる二種類の微小物体を用いた。導電率の小さいポリスチレンラテックス（カルボキシレート）粒子（以下ポリスチレン粒子と略す）と、導電体の粒子である炭素球粒子を微小物体として用いた。それぞれの調製方法を以下に示す。まずポリスチレン粒子（半径 $1.5\mu\text{m}$ ）は、市販のラテックス試料を精製水（蒸留水をミリポア（MILLIPORE）で精製した水。）（以下、水と略す）、又は KCl 水溶液で観測しやすい粒子数に希釈したものを用いた（粒子数 3.36×10^5 個 cm^{-3} ）。実際には 100cm^3 の水に対して、ラテックス試料を $20\mu\text{l}$ 加えた。試料は普

【0016】セル内での粒子の深さを求めるために、まずセルの上面と下面に焦点を合わせ、ステージの高さを記録する。次に、粒子に焦点を合わせてステージの高さを記録する。そして以下に示す式（13）によって粒子の相対深さの比（ D_r ）を求め、次いでこの D_r の値から次式（14）によりセルの下面からの高さ（ h_D ）を求めた。

ステージの高さであり、 h_3 はセルの下面に焦点を合わせたときのステージの高さである。）

$$(14)$$

段は冷蔵保存し、測定する前に室温（ 25°C ）に戻した。

【0021】次に炭素球粒子としてバイオテクリサーチのカーボンカラム・ビーズを用い、約 0.05% （ W/W ）になるように調製した。しかし、水だけでは浮かんでしまい分散しなかったため、中性の界面活性剤であるトリトンX-100（ポリオキシエチレン（10）オクチルフェニルエーテル（ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{C}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_{10}\text{OH}$ ）からなる中性の界面活性剤）を約 0.01% （ V/V ）になるように加え、振とう機で1時間程度振とうさせると、よい分散が得られた。粒子の半径は様々であったが、かなり小さい粒子（半径約 $1\mu\text{m}$ ）だけはある程度の時間分散していた。実際には 100cm^3 の水に対して、炭素球を約 0.05g 、トリトンX-100を $10\mu\text{l}$ 加えた。

【0022】この実験に使用した実験装置を図8に示す。図8の実験装置は、図5に示した均一磁場での実験装置と、セルの部分及びデジタルゲージの部分を除きほぼ同様のものである。ここで便宜上、図8の右上に示したセル（内径 $73 \times 23 \times 1\text{mm}$ ）に座標軸を置いた。長さ方向を X 軸、幅方向を Y 軸、深さ方向を Z 軸とした。セルはアルミの枠に固定されていて、そのアルミ枠をステージに水平に固定し XY 方向に平行に動かせるようにした。粒子の泳動の様子は、セルの真上から光学顕微鏡を用いて観察した。倍率は 300 倍（接眼レンズ $\times 15$ 、対物レンズ $\times 20$ ）である。この顕微鏡には焦点調製のために目盛のついた微動ネジがついているので、その値から深さを求めた。

【0023】電磁泳動挙動の測定法は、基本的には前記の電気泳動挙動の測定法と操作は変わらない。変わった点は、セルの下に磁石（ $16 \times 16 \times 5\text{mm}$ ）を設置する点である。この磁石はステージの動きと関係なく常に対物レンズの真下にあるので、顕微鏡の視野内では水平な均一電場に垂直に均一磁場が存在している（図9参照）。磁石には非常に強力なネオジム鉄ボロン磁石を用いた（ 1mm のガラスを挟んだ上の磁束密度約 0.36T ）。図9に、この実験のセル部分を示す。

【0024】まず、あらかじめ測定前に試料の pH と導

電率を測定する。セルに試料を満たした後、ステージに固定し、顕微鏡でまず深さの基準となる溝を探す。次に上の溝から微動ネジを使って定常レベルに合わせ、焦点の合っている粒子をXYステージを動かして探す。粒子が見つかったら、ビデオを録画にし電圧をかける(約50V)。泳動挙動を録画したら、電圧をかけるのを止めビデオを止める。このようにして数個の粒子について測定し、電極の正負を変え、上下の定常レベルについてそれぞれ測定し、この4過程で1つの試料の測定とする。測定した試料はそのままもう一度導電率を測定する。

【0025】なお、トリトンX-100を加えたことによって多少セルの中を流れる試料の流れが遅くなったように感じられたので、トリトンX-100水溶液の粘度を調べた。測定にはユベロード粘度計を使い、25℃における水に対する相対粘度を求めた。

【0026】まず、磁場をかけずに電気のみによる電気泳動の様子を観察した。その結果を図10に示す。写真は左側が正極で右側が負極で、媒体として1mMKClを用いたポリスチレンラテックス粒子の映像であり、右側は電圧をかけたとき(0秒)であり、真ん中は8秒後であり、左側は16秒後の映像である。この電気泳動ではポリスチレンラテックス粒子はX軸方向(図中の左右方向)にのみ泳動しており、Y軸方向(図中の上下方向)への泳動はみられなかった。

【0027】次に、磁場をかけると明らかに粒子の泳動挙動に変化が見られた。結果を図11に示す。いずれの写真も前記の図10と同様であるが、図11の上段がKClを添加していない場合(0mM)であり、2段目がKCl 0.1mMの場合であり、3段目(最下段)がKCl 1mMの場合のものである。粒子は電気泳動の場合とは異なり、KCl濃度が増すに連れてY軸方向(図中の上下方向)への大きな泳動が観察された。

【0028】この写真(図11)のように粒子は斜めに泳動する。そこで粒子の泳動速度をX軸方向・Y軸方向の速度にベクトル分解して、電気泳動との違いについて検討した。X軸方向の速度成分 V_x は電気泳動と同じ方向なので、電気泳動移動度と V_x から求めた泳動移動度を比較することで磁場による寄与があるか否かを検討した。この検討に際して泳動移動度にしたのは、泳動速度では単純な比較ができないからである。 V_x を電場で割って規格化した泳動移動度を、KCl濃度に対してプロットした場合、泳動移動度が電気泳動移動度とほぼ一致した。その結果を図12に示す。図12の黒丸印は炭素粒子の場合を示し、白丸印はポリスチレンラテックス粒子の場合を示す。図12の横軸はKCl濃度(10-3モル/dm³)を対数で示しており、縦軸は速度成分 V_x の泳動移動度(10-8m²/秒/V)を示している。図13は同様に泳動移動度を示している。同図から分かるように泳動移動度にほとんど違いが見られなかった。この結果から磁場の存在下での泳動における V_x は

電気泳動の寄与のみであることが分かった。

【0029】Y軸方向の速度成分 V_y は電気泳動のときには0であった。しかも V_x は電気泳動だけであったので、この V_y 成分は電磁泳動そのものであると考えられる。電磁泳動力は電流密度に比例するので、この V_y を電流に対してプロットした結果を図14に示す。図14の黒丸印は炭素粒子の場合を示し、白丸印はポリスチレンラテックス粒子の場合を示す。図14の横軸は電流(10-6A)を示しており、縦軸は泳動速度(10-6m/秒)を示している。その結果、ポリスチレン、炭素両粒子とも原点を通る同一の直線に近似できた。このことは導電率の全く違う両粒子にもかかわらず、電磁泳動力に差が見られなかったことを示している。

【0030】以上の結果は、不均一磁場における電磁泳動においては、電磁流動が支配的であり、開放系に近い状態では、電磁流動と電気泳動をそれぞれ直交する方向に作用させ、イオンや微粒子の分離を行うことができ、密閉系においては、バルクフローの動力源として利用が可能であることを示している。また、均一磁場における電磁泳動においては流動は起こらず、電磁浮力による粒子の泳動分離が起こり、この泳動速度は、粒子半径の二乗に比例し、電流に比例し、また、これと電気泳動との組み合わせも可能であることから、粒子の大きさ、電荷、導電率に基づく泳動分析が期待されることを示している。したがって本発明は、分散媒との組合せにより、電磁場の中での微小物体の分離又はキャラクタリゼーション法としての可能性を示すものであり、本発明は従来の電場のみを用いた電気泳動法とはことなる新たな分離・キャラクタリゼーション法を提供するものである。

【0031】本発明の泳動の対象となる微小物体としては、帯電している微小物体であってもよく、また、電場又は磁場をかけることにより帯電する微小物体であってもよいし、帯電しないものであってもよい。微小物体としては導電性を少しでも有するものが好ましい。本発明における微小物体としては、例えば、ポリスチレンなどの高分子物質の粒状物、炭素などの無機物質の粒状物、分子や分子の凝集物、酵素などの蛋白質、ペプチド、細菌類や細胞などの微生物などが挙げられる。これらの微小物体には、必要に応じて、蛍光物質や放射性物質などのマーカーが付されていてもよい。これらの微小物体は、従来の電気泳動による分離だけでなく、その大きさ、例えば体積などやその形により本発明の方法により分離することが可能となる。

【0032】媒体としては、電導性があれば特に制限はなく、液体状であっても、ゲル状であってもよいが、水溶液が好ましい。また、分散媒中に必要に応じて界面活性剤などの他の添加物を添加することもできる。

【0033】本発明の方法は電場に垂直な方向に磁場をかけることを特徴とするものであるが、磁場をかける方向は媒体や分離しようとする微小物体に応じて適宜変更

は電場方向のみならず電場と垂直な磁場方向へも移動することから、分子などの微小物体のより詳細な分離・キャラクターゼーションを行うことができる。また、泳動が二次元的であることから、泳動による分取を簡単に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 は、均一磁場における微小物体の電磁力と電磁浮力の関係を模式的に示したものである。

【図 2】図 2 は、本発明の実施例 1 において使用したセルを示すものである。

【図 3】図 3 は、本発明の実施例 1 において使用したセルホルダーを示すものである。

【図 4】図 4 は、本発明の実施例 1 において使用したセルホルダーを磁場中に置いたところを示すものである。

【図 5】図 5 は、本発明の実施例 1 において使用した本発明の装置を示すものである。

【図 6】図 6 は、均一磁場における微小物体の泳動速度と電流の関係の実測値をグラフ化したものである。

【図 7】図 7 は、均一磁場における微小物体の泳動速度と電流の関係の計算値をグラフ化したものである。

【図 8】図 8 は、本発明の実施例 2 において使用した本発明の装置を示すものである。

【図 9】図 9 は、本発明の実施例 2 において使用したセ

ルホルダーを磁場に置いたところを示すものである。

【図 10】図 10 は、本発明の実施例 2 における電気泳動の様子を示した、図面に代わる写真である。

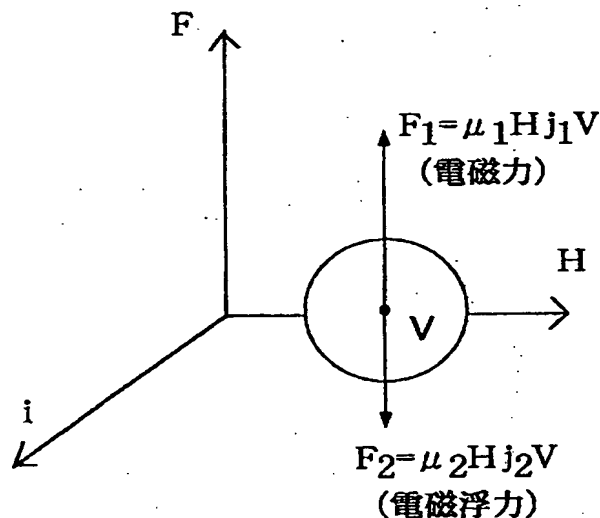
【図 11】図 11 は、本発明の実施例 2 における電磁泳動の様子を示した、図面に代わる写真である。最上段は KCI 濃度が 0mM の場合で、中段は KCI 濃度が 0.1mM の場合で、最下段は KCI 濃度が 1mM の場合である。

【図 12】図 12 は、本発明の実施例 2 の電磁泳動における、電場に平行な速度成分 V_x の泳動移動度と KCI 濃度の関係を実測値に基づいてグラフ化したものである。白丸印はポリスチレン粒子を示し、黒丸印は炭素粒子を示している。

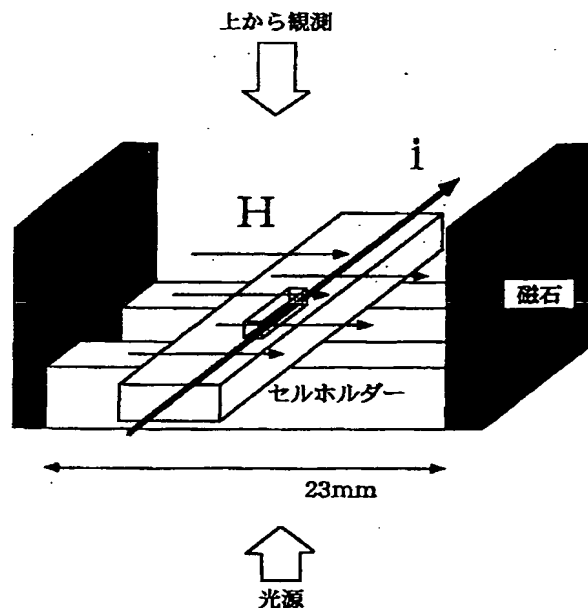
【図 13】図 13 は、本発明の実施例 2 の電磁泳動における、泳動移動度と KCI 濃度の関係を実測値に基づいてグラフ化したものである。白丸印はポリスチレン粒子を示し、黒丸印は炭素粒子を示している。

【図 14】図 14 は、本発明の実施例 2 の電磁泳動における、電場に垂直な速度成分 V_y の泳動速度と電流の関係を実測値に基づいてグラフ化したものである。白丸印はポリスチレン粒子を示し、黒丸印は炭素粒子を示している。

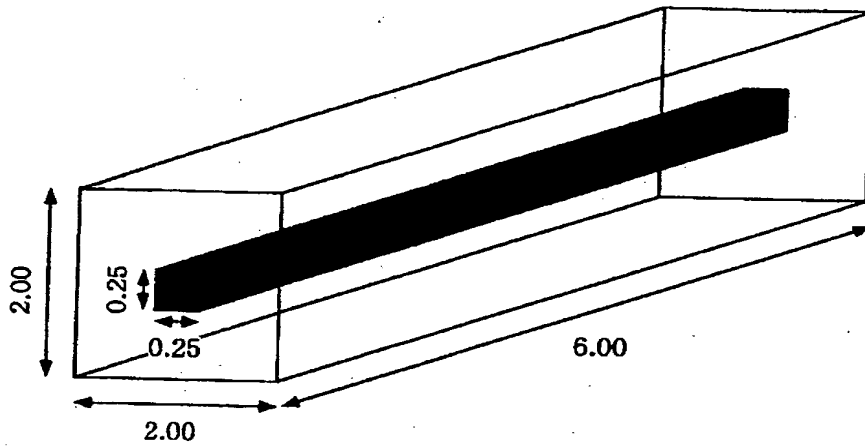
【図 1】



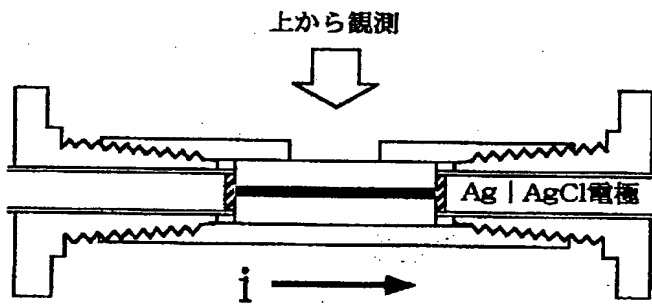
【図 4】



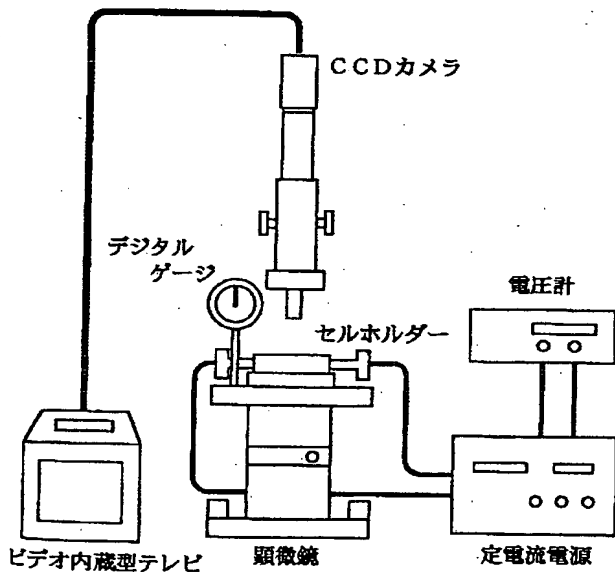
【図2】



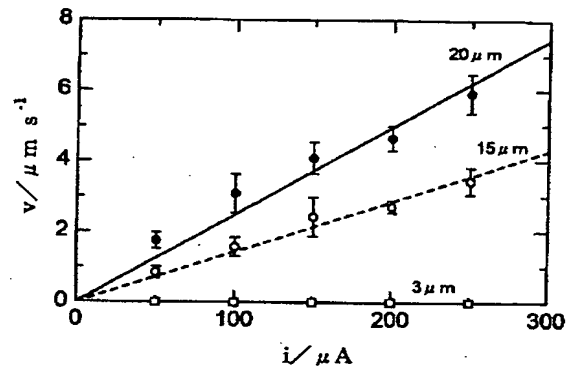
【図3】



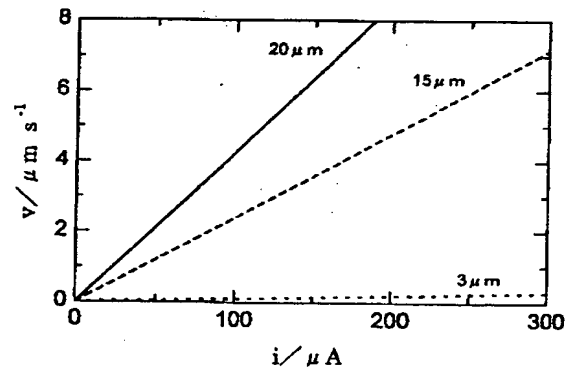
【図5】



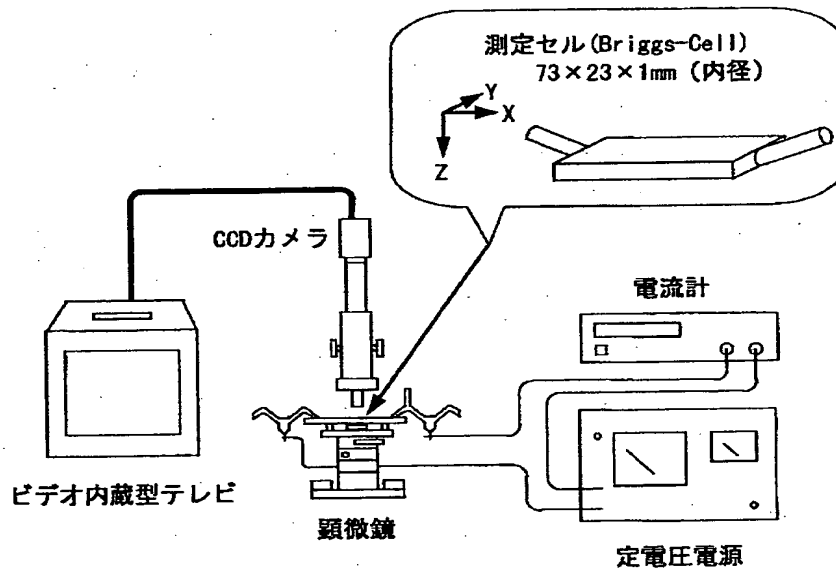
【図6】



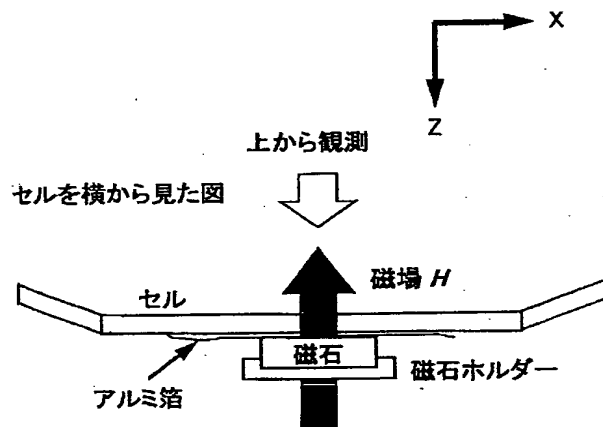
【図7】



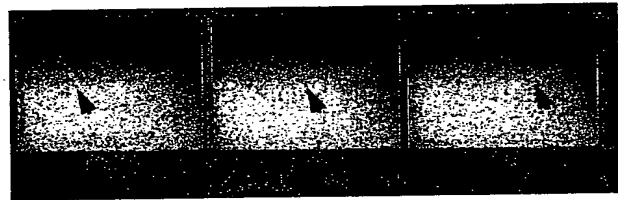
【図8】



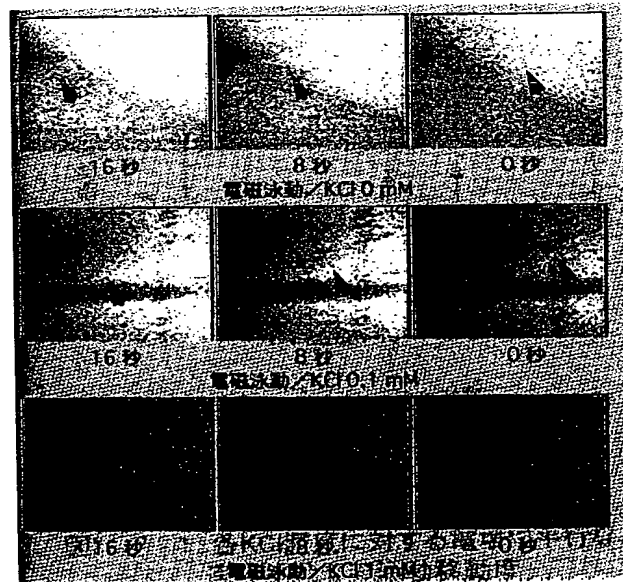
【図9】



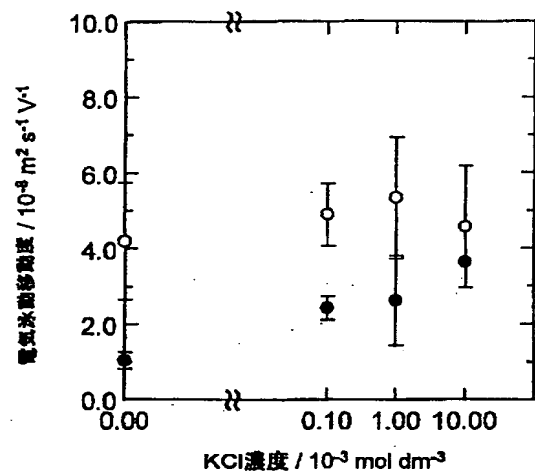
【図10】



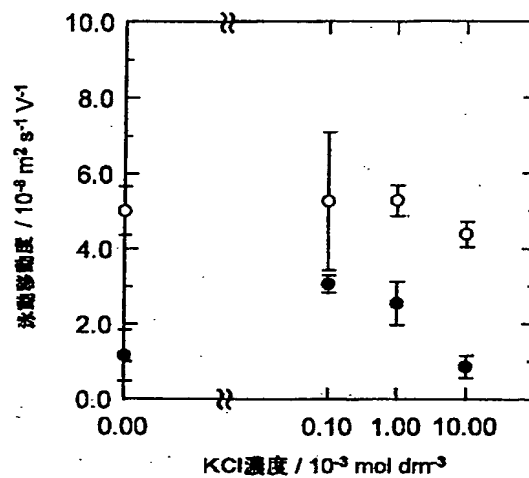
【図11】



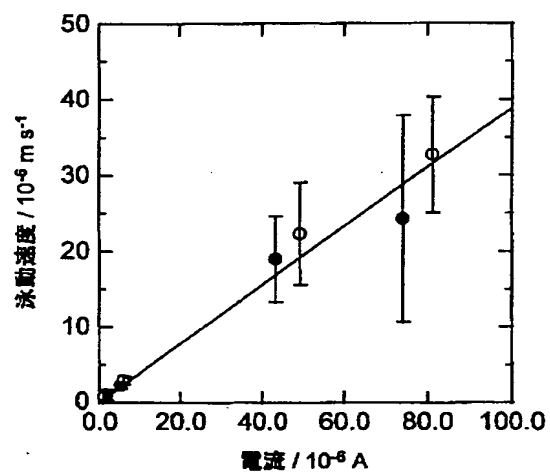
【図12】



【図13】



【図14】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.